

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012955112 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2000-126962/200011

XRPX Acc No: N00-095664

Bias layer magnetization adjustment for magnetoresistive sensor element - involves heating or cooling sensor element above or under predetermined temperature, applying magnetic adjustment field for fixed time period, and returning temperature to initial temperature

Patent Assignee: SIEMENS AG (SIEI ); IPHT JENA INST PHYSIKALISCHE HOCHTECHNOL (IPHT-N); BERG H V D (BERG-I); MATTHEIS R (MATT-I)

Inventor: MATTHEIS R; VAN DEN BERG H; BERG H V D

Number of Countries: 022 Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
WO 200002006	A2	20000113	WO 99DE2017	A	19990701	200011 B
DE 19830344	A1	20000120	DE 1030344	A	19980707	200011
EP 1093587	A2	20010425	EP 99945873	A	19990701	200124
			WO 99DE2017	A	19990701	
US 20010020847	A1	20010913	WO 99DE2017	A	19990701	200155
			US 2001756083	A	20010108	
JP 2002519873	W	20020702	WO 99DE2017	A	19990701	200246
			JP 2000558354	A	19990701	
DE 19830344	C2	20030410	DE 1030344	A	19980707	200327

Priority Applications (No Type Date): DE 1030344 A 19980707

Cited Patents: No-SR.Pub

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

WO 200002006 A2 G 34 G01B-007/00

Designated States (National): JP KR US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE

DE 19830344 A1 H01L-043/12

EP 1093587 A2 G G01R-033/09 Based on patent WO 200002006

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

US 20010020847 A1 G01B-007/30 Cont of application WO 99DE2017

JP 2002519873 W 31 H01F-013/00 Based on patent WO 200002006

DE 19830344 C2 H01L-043/12

Abstract (Basic): WO 200002006 A

The method involves adjusting the magnetization of at least one bias layer of a magneto-resistive sensor element, which consists of at least one bias layer, at least one flow regulation layer, and at least one anti-ferromagnetic coupling layer arranged between them. The sensor element is heated or cooled down above or under a predetermined temperature.

A magnetic adjustment field is applied during or after the heating or cooling process. The adjustment field is switched off after a predetermined time, and the temperature is changed back to an initial temperature.

USE - For sensor with artificial anti-ferromagnetic system.

ADVANTAGE - Enables simple adjustment of bias magnetization of individual sensor element or of elements of sensor system.

Dwg.7/19

Title Terms: BIAS; LAYER; MAGNETISE; ADJUST; MAGNETORESISTIVE; SENSE;  
ELEMENT; HEAT; COOLING; SENSE; ELEMENT; ABOVE; PREDETERMINED; TEMPERATURE  
; APPLY; MAGNETIC; ADJUST; FIELD; FIX; TIME; PERIOD; RETURN; TEMPERATURE;  
INITIAL; TEMPERATURE

Derwent Class: S02; U12

International Patent Class (Main): G01B-007/00; G01B-007/30; G01R-033/09;  
H01F-013/00; H01L-043/12

International Patent Class (Additional): H01L-043/08

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): S02-A02; S02-K03A5A; U12-B; U12-B03E  
?



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 30 344 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 01 L 43/12**  
H 01 L 43/08  
G 01 B 7/30  
// G 01 B 101:10

⑳ Aktenzeichen: 198 30 344.0  
㉔ Anmeldetag: 7. 7. 1998  
㉕ Offenlegungstag: 20. 1. 2000

DE 198 30 344 A 1

㉗ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

㉘ Erfinder:  
van den Berg, Hugo, Dr., 91074 Herzogenaurach,  
DE; Mattheis, Roland, Dr., 07743 Jena, DE

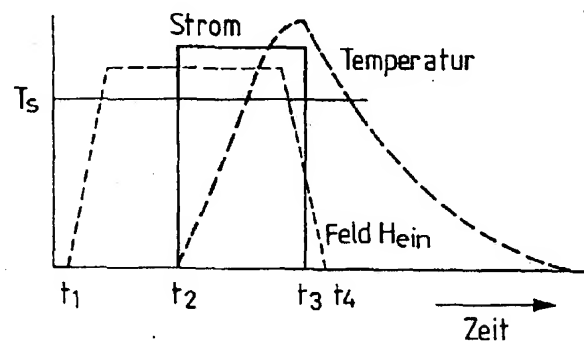
㉙ Entgegenhaltungen:  
DE 195 20 178 A1  
DE 195 20 172 A1  
DE 42 43 358 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉚ Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, demgemäß bearbeitetes Sensorelement oder Sensorelementensystem sowie zur Durchführung des Verfahrens geeignetes Sensorelement und Sensorsubstrat

㉛ Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch kopplenden Kopplungsschicht, umfassend folgende Schritte:  
a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur ( $T_s$ ),  
b) Anlegen eines magnetischen Einstellfelds ( $H_{\text{ein}}$ ) während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,  
c) Abschalten des Einstellfelds ( $H_{\text{ein}}$ ) nach einer vorbestimmten Zeit,  
d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.



DE 198 30 344 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferro magnetic-system) ist bestehend aus mindestens der Biasschicht, einer Flußführungsschicht und einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht.

Solche Sensorelemente kommen beispielsweise bei magneto-resistiven Winkeldetektoren zum Einsatz. Grundlage dieser Sensoren sind die beiden einander entgegengesetzten Magnetisierungen der Bias- und der Flußführungsschicht mit einer starken antiferromagnetischen Kopplung. Diese beiden Schichten verhalten sich als eine steife Einheit, die sich von äußeren Feldern kaum beeinflussen läßt. Die magnetische Meßschicht dagegen ist weichmagnetisch und deren Magnetisierung richtet sich parallel zum äußeren Feld aus. Über das äußere Magnetfeld wird der Winkel zwischen den Magnetisierungen in der Bias- und Meßschichtmagnetisierung und damit der Widerstand des Sensorelements festgelegt. Um den Einfluß der Temperatur auf solche Sensorsysteme, von denen für einen 180°-Winkeldetektor vier Sensorelemente und für einen 360°-Winkeldetektor acht Sensorelemente benötigt werden, möglichst kompensieren zu können, werden diese nach Art einer Wheatstone'sche Brücke verschaltet. Zur weitergehenden Kompensation von Temperatureinflüssen ist es bevorzugt, die Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat anzuordnen und in ihrem Schichtaufbau und der Schichtstruktur identisch auszugestalten. Erforderlich ist in jedem Fall, daß die Magnetisierung der Bias schichten von zwei Elementen innerhalb des vier Sensorelemente umfassenden Sensorsystems entgegengesetzt zu den anderen beiden Elementen ist. Eine Halbbrücke erfordert nur zwei Elemente mit entgegengesetzten Biasmagnetisierungen. Dies gilt unabhängig davon, ob das Sensorsystem auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet ist oder ob es mittels einzelner separater Sensorelemente gebildet ist. Zu diesem Zweck ist es bekannt, an den einzelnen Sensorelementen mittels stromdurchflossener Leiter das jeweils entsprechend gerichtete Magnetfeld anzulegen. Dies bedarf insbesondere bei auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen, die entsprechend miteinander verschaltet und angeordnet sind, einer aufwendigen Leiterführung. Im übrigen sind die jeweiligen Einstellfelder für die Gesamtheit der Sensorelemente nicht uniform.

Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, ein hierzu alternatives Einstellverfahren anzugeben, das eine einfache Einstellung der Biasmagnetisierung eines einzelnen Sensorelements oder von Sensorelementen eines Sensorsystems ermöglicht.

Zur Lösung dieses Problems ist ein Verfahren der eingangs genannten Art durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements auf eine vorbestimmte Temperatur,
- b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
- c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten Zeit,
- d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt also die Einstellung bei vorbestimmter erhöhter oder erniedrigter Temperatur. Grundlage hierfür ist, daß die Biasschicht und die Flußführungsschicht bzw. deren Magnetisierung ein unter-

schiedliches Temperaturverhalten bedingt durch eine zwischen den Schichten gegebene Asymmetrie aufweisen. Wird nun das Sensorelement auf die vorbestimmte Temperatur gebracht, so ändert sich die Sättigungsmagnetisierung, die Koerzitivität oder die Anisotropie der einen Schicht stärker als der anderen. Dies führt dazu, daß nach Abschalten des Einstellfeldes infolge der nach wie vor gegebenen Temperaturerhöhung die Magnetisierung der Schicht, bei der sich z. B. die Sättigungsmagnetisierung infolge der Temperaturveränderung deutlich geändert hat, in die entgegengesetzte Richtung ausrichtet, wie nachfolgend noch näher beschrieben wird. Es ist also möglich, durch entsprechende Temperaturführung die Einstellung zu erreichen.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen sich insbesondere dann, wenn mindestens zwei Sensorelemente, die gleichzeitig eingestellt werden sollen, vorhanden sind, wobei die Magnetisierung der Biasschicht der beiden Sensorelemente oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung eines Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegengesetzt gerichtet sein soll. In diesem Fall kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, daß lediglich ein Sensorelement oder der entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt wird. Wie beschrieben ändert sich beispielsweise die Sättigungsmagnetisierung bzw. das Verhältnis der Sättigungsmagnetisierungen der einzelnen Schichten nur bei den erwärmten Sensorelementen. Wird das Einstellfeld angelegt, so kehrt sich nur bei den temperaturbeeinflussten Sensorelementen die Magnetisierung entsprechend um, bei den Sensorelementen, die nicht temperaturbeeinflusst sind und bei denen die Sättigungsmagnetisierung unverändert ist, kehrt sich die Biasmagnetisierung nicht um. Es ist also vorteilhaft möglich, mit einem einzigen uniformen Einstellfeld zur Einstellung aller Sensorelemente zu arbeiten. Die Sensorelemente können, wenn die mehreren Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, erfindungsgemäß lokal erwärmt oder abgekühlt werden.

Wenngleich es möglich ist, die nicht temperaturbehandelten Sensorelemente auf Raumtemperatur zu halten, können erfindungsgemäß gleichermaßen vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten werden. Die Wahl der Temperatur und Temperaturführung ist letztlich abhängig von der Art der verwendeten Sensorelemente bzw. der jeweiligen Schichten.

Die Erwärmung erfolgt vorteilhafterweise mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme, wodurch sich mit besonderem Vorteil im Fall von auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen eine lokale Erwärmung erzielen läßt, worauf nachfolgend noch eingegangen wird. Der Abschaltzeitpunkt für das Einstellfeld sollte früher liegen als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zur Arbeitstemperatur einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie gerade noch gegeben ist.

Wie beschrieben beruht die Umkehrung der Magnetisierung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren darauf, daß bei der gewählten Einstell-Temperatur die Schichten der behandelten Sensorelemente ein unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen.

Zweckmäßigerweise sollte die Temperatur, auf welche die Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt werden, außerhalb und höher oder niedriger liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind, um bei Betrieb der Sensorelemente keine Um-

kehr des vorher erreichten Effektes zu erhalten.

Für den Fall, daß vorher die Sensorelemente abgekühlt werden, kann die anschließende Erwärmungstemperatur des oder der jeweiligen Sensorelemente innerhalb des Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die Erfindung ferner ein Sensorelement oder ein Sensorelementsystem umfassend mehrere Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem vorbeschriebenen Verfahren eingestellt ist. Bei einem demgemäß ausgebildeten Sensorelementsystem mit zwei, drei oder vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon können die vier oder jeweils zwei, drei oder vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Neben den mit dem erfindungsgemäß eingestellten Verfahren hergestellten Sensorelementen bzw. Sensorelementsystemen betrifft die Erfindung desweiteren ein Sensorelement selbst mit mindestens einer Biasschicht, die Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch kopplenden Kopplungsschicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht mittels des vorbeschriebenen Verfahrens in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist. Dieses Sensorelement zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Biasschicht und der mindestens einer Flußführungsschicht in einem homogenen magnetischen Einstellfeld bedingt durch eine zwischen den Schichten gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist. Wie beschrieben läßt sich die Magnetisierung (Koerzitivität, Anisotropie) infolge des asymmetriebedingten unterschiedlichen Temperaturverhaltens der relevanten Schichten entsprechend einstellen. Diese Asymmetrie kann gemäß einer ersten Erfindungsalternative beispielsweise durch unterschiedlich große magnetische Momente der Biasschicht und der Flußführungsschicht bei der Einstelltemperatur erzeugt sein. Infolge der Temperaturbeeinflussung ändert sich das Verhältnis der magnetischen Momente der beiden Schichten, das heißt, bei beispielsweise Raumtemperatur ist das magnetische Moment der Biasschicht größer als das der Flußführungsschicht, während bei der Einstelltemperatur das magnetische Moment der Biasschicht kleiner als das der Flußführungsschicht ist. Zusätzlich ist auch die jeweilige Curietemperatur der Schichten unterschiedlich. Infolge der Schichtkopplung wird in diesem Fall die unterschiedliche Ausrichtung ermöglicht.

Eine andere Alternative zur Erzeugung der Asymmetrie kann erfindungsgemäß in unterschiedlichen Dicken der Bias- und der Flußführungsschicht liegen. Schließlich kann erfindungsgemäß die Biasschicht und die Flußführungsschicht zur Erzeugung der Asymmetrie auch unterschiedliche Anisotropien besitzen, wobei in diesem Fall der unterschiedliche Anisotropiebeitrag bei der erhöhten Einstelltemperatur ursächlich ist. Schließlich kann erfindungsgemäß auch die Koerzitivität, also die magnetische Reibung innerhalb der Schichten unterschiedlich sein. Eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung kann vorsehen, daß die Asymmetrie mittels einer an die Biasschicht oder die Flußführungsschicht gekoppelten weiteren ferri-, ferro- oder antiferromagnetischen Schicht erzeugt ist. In diesem Fall können die Bias- und die Flußführungsschicht gleich sein, da infolge der Kopplung der jeweiligen Schicht mit der Bilanzschicht der jeweilige Asymmetriebeitrag beispielsweise in Form der magnetischen Momente der Bilanzschicht, oder

einer etwaigen Anisotropie oder unterschiedlichen Koerzitivität derselben zur jeweils angekoppelten Schicht "addiert" wird. Selbstverständlich können auch in diesem Fall die Bias- und Flußführungsschicht unterschiedlich sein.

Erfindungsgemäß kann die Phasenübergangstemperatur der weiteren Schicht niedriger als die Curie-Temperatur der Biasschicht und der Flußführungsschicht sein, wobei die Bias- und die Flußführungsschicht aus dem gleichen Material bestehen können. Infolge der niedrigeren Curie-Temperatur fehlt der jeweils an die weitere Schicht gekoppelten Schicht bei einer gegebenen Einstelltemperatur oberhalb der Curie-Temperatur der weiteren Schicht der Schichtbeitrag, so daß sich oberhalb dieser Temperatur die Asymmetrie einstellt.

Erfindungsgemäß können zwei weitere Schichten vorgesehen sein, die an die beiden im AAF-System aufliegenden Flußführungsschichten gekoppelt sind, es sind hier also zwei Flußführungsschichten vorhanden. Eine weitere Ausgestaltung kann derart sein, daß das AAF-System zwei die weitere Schicht zwischen sich aufnehmende Biasschichten aufweist.

Das erfindungsgemäße Sensorelement ist nicht auf eine Strukturierung mit lediglich einem AAF-System beschränkt. Vielmehr können erfindungsgemäß zwei AAF-Systeme vorgesehen sein, die eine entkoppelte Meßschicht zwischen sich aufnehmen. In diesem Fall sind zwei weitere Schichten vorgesehen, die an die außenliegenden Flußführungsschichten der beiden AAF-Systeme gekoppelt sind. Die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung und/oder der Anisotropie und/oder der Hysteresis kann derart stark sein, daß sich mit einem festen Einstellfeld mindestens zwei unterschiedliche Biasschichtmagnetisierungen einstellen lassen, die parallel zum Einstellfeld liegen können, aber auch unter einem Winkel dazu, nämlich dann, wenn nach Abschalten des Einstellfeldes die Magnetisierung um einen gewissen Winkelbereich zurückdreht.

Schließlich betrifft die Erfindung ein Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen. Erfindungsgemäß sind die Sensorelemente wie vorbeschrieben ausgebildet, ferner sind Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrerer Sensorelemente vorgesehen. Die Mittel können erfindungsgemäß derart sein, daß eine Erwärmung mittels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms ermöglicht ist. Sind jeweils vier Sensorelemente zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet, können die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und angeordnet sein, daß jeweils zwei Sensorelemente erwärmbar sind. Sind auf dem Sensorsubstrat mehrere Sensorbrücken angeordnet, können die Mittel erfindungsgemäß derart ausgebildet sein, daß sie beim Trennen der Sensorbrücken voneinander unterbrochen werden. Dabei sollten zweckmäßigerweise die Sensorelemente und/oder die Mittel so angeordnet sein, daß der Erwärmungsstrom über mehrere, aber nicht alle, Sensorelemente, gegebenenfalls Sensorbrücken geführt wird. Eine zweckmäßige konkrete Ausgestaltung der Mittel sieht vor, daß diese als jeweils zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschließende Kurzschlußleiter ausgebildet sind, wobei der Erwärmungsstrom über die beiden nicht kurzgeschlossenen zu erwärmenden Sensorelemente führbar ist.

Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, daß die Mittel als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter ausgebildet sind, wobei die nicht zu erwärmenden Sensorelemente im wesentlichen auf dem gleichen Potential wie die zu erwärmenden Sensorelemente liegen. Um in diesem Fall weitgehend zu vermeiden, daß infolge einer möglicherweise gegebenen nichtuniformen Ausbildung der Sensorelemente einer Sensorbrücke ein zu einer Erwärmung der eigentlich nicht zu erwärmenden Sensorelemente führender

Heizstrom über diese fließt, kann erfindungsgemäß wenigstens eine Spannungsausgleichsleitung zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern vorgesehen sein. Die mittels der Leiter verbundenen Sensorelemente sollten zweckmäßigerweise längs einer oder mehrerer im wesentlichen gerader Linien angeordnet sein. Eine zweckmäßige Erfindungsalternative sieht demgegenüber vor, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorelemente ineinander eingreifend angeordnet sind. Dies führt zu einem besseren Temperaturverhalten und einem mechanischen Spannungsausgleich der Elemente der jeweiligen Brückenhälften, was eine geringere Brücken-Offset-Spannung zur Folge hat. Besitzt das Sensorsubstrat vier Sensorelemente oder ein Vielfaches davon, sind also entsprechende Sensorbrücken vorhanden, können die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

**Fig. 1** eine Prinzipskizze einer vier Sensorelemente aufweisenden Sensorbrücke, von denen zwei erwärmbar und zwei kurzgeschlossen sind,

**Fig. 2** eine Prinzipskizze der Anordnung mehrerer Sensorbrücken auf einem gemeinsamen Substrat,

**Fig. 3** eine Sensorbrücke aus **Fig. 2** nach Trennung des Substrats,

**Fig. 4** eine Sensorbrücke einer zweiten Ausführungsform, wobei auch hier zwei Sensorelemente selektiv erwärmbar sind,

**Fig. 5** mehrere Sensorbrücken gemäß **Fig. 4** auf einem gemeinsamen Substrat,

**Fig. 6** eine dritte Ausführungsform einer Sensorbrücke,

**Fig. 7** ein Diagramm zur Darstellung der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

**Fig. 8** eine Prinzipskizze zur Darstellung eines Sensorelements einer ersten Ausführungsform,

**Fig. 9** ein Diagramm zur Darstellung der Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung der unterschiedlichen Schichten des AAF-Systems,

**Fig. 10** ein Sensorelement einer zweiten Ausführungsform,

**Fig. 11** die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus **Fig. 10**,

**Fig. 12** eine dritte Ausführungsform eines Sensorelements,

**Fig. 13** eine vierte Ausführungsform eines Sensorelements,

**Fig. 14** die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus **Fig. 13**,

**Fig. 15** eine fünfte Ausführungsform eines Sensorelements,

**Fig. 16** eine sechste Ausführungsform eines Sensorelements,

**Fig. 17** die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus **Fig. 16**,

**Fig. 18** eine siebte Ausführungsform eines Sensorelements, und

**Fig. 19** die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus **Fig. 18**.

**Fig. 1** zeigt in Form einer Prinzipskizze eine Sensorbrücke **1** bestehend aus zwei Sensorelementen  $R_1$  und zwei Sensorelementen  $R_2$ , die nach Art einer Wheatstone'schen Brücke miteinander zur Temperaturkompensation verschaltet sind. Die Sensorbrücke ist, wie **Fig. 2** zeigt, auf einem

gemeinsamen Substrat angeordnet, wobei **Fig. 2** lediglich eine Prinzipskizze der Brückenordnung zeigt. Bei der Sensorbrücke **1** gemäß **Fig. 1** können die Sensorelemente  $R_2$  selektiv aufgeheizt werden. Wie **Fig. 2** zeigt, sind die Sensorbrücken **1** der Reihe nach hintereinander angeordnet und über die jeweiligen Strompads  $C_1$  und  $C_2$  miteinander verbunden. Über die Sensorelemente **1** kann ein Strom geführt werden, was dazu führt, daß die Sensorelemente  $R_2$  infolge des Stromflusses erwärmt werden, die Sensorelemente  $R_1$  sind über Kurzschlußleiter **2** kurzgeschlossen und führen keinen oder sehr wenig Heizstrom, so daß sie nicht erwärmt werden. Die Ausbildung der Kurzschlußleiter ist relativ einfach möglich und mittels schmaler Streifenbahnen realisierbar, zumal die Sensorelemente meist aus mäanderförmigen Leiterbahnen bestehen, um ein bequemes Impedanzniveau zu erreichen. Infolge der Anordnung der Kurzschlußleiter **2** und der Anordnung der Sensorbrücken **1** auf dem Substrat werden die Kurzschlußleiter während der Trennung der einzelnen Sensorbrücken unterbrochen, vgl. hierzu **Fig. 3**. Alternativ hierzu können die Kurzschlußleiter auch anschließend weggeätzt werden.

Die **Fig. 4** und **5** zeigen eine weitere Ausführungsform. Die brückeneigenen Sensorelemente und Kontaktpads ( $C_{1,2}$  = Strompads,  $U_{1,2}$  = Spannungspads) sind so angeordnet, daß die  $R_2$ -Elemente außen liegen, und daß sowohl die  $R_2$ - wie auch die  $R_1$ -Elemente auf dem Substrat längs gerader Linien angeordnet sind. Die  $R_2$ -Elemente sind reihenweise über Leiter **3** elektrisch auf der Scheibe verbunden, jede Reihe wird während der Einstellung von einem Strom  $I_{\text{Heiz}}$  durchflossen. Die  $R_1$ -Elemente liegen im Prinzip auf dem gleichen Potential, wie sich aus **Fig. 4** ergibt, wonach das  $R_1$ -Element am Spannungspad  $U_2$  auf dem Potential  $V_h$  und das  $R_1$ -Element am Spannungspad  $U_1$  auf dem Potential  $V_n$  liegt. Sie führen folglich kaum Strom und werden nicht erwärmt.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung einer Sensorbrücke zeigt **Fig. 6**. Die  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente sind mäanderförmig strukturiert, innerhalb einer Brückenhälfte greift jeweils ein  $R_1$ -Element und ein  $R_2$ -Element ineinander. Diese "Verschachtelung" führt zu einem besseren Temperaturausgleich sowie einem besseren mechanischen Spannungsausgleich der Elemente, was in einem geringeren Brücken-Offset resultiert. Um den ohnehin geringen durch die  $R_1$ -Elemente fließenden Heizstrom  $I_{\text{Heiz}}$  noch weiter zu verringern, sind die Leiter **3**, die die  $R_2$ -Elemente elektrisch miteinander kontaktieren, mittels Spannungsausgleichsleitungen **4** verbunden.

**Fig. 7** zeigt in Form eines Diagramms das Prinzip der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird das Einstellfeld, relativ schnell ansteigend, an das oder die Sensorelemente gelegt. Nach Erreichen eines Maximums bleibt das Feld für eine bestimmte Zeit konstant. Im Zeitpunkt  $t_2$  wird ein Strompuls über das oder die Sensorelemente geschickt, was gleichzeitig zu einem Ansteigen der Temperatur der stromdurchflossenen  $R_2$ -Elemente führt. Übersteigt die Elementtemperatur eine bestimmte Temperatur  $T_s$ , werden die Sensorelemente  $R_2$  in einen anderen magnetischen Zustand versetzt. Nach dem Ausschalten des Feldes wird die Magnetisierung in einem dieser Biasschichten zur Magnetisierung der Biasschichten der  $R_1$ -Elemente entgegengesetzt ausgerichtet werden. Das Einstellfeld bleibt solange aufrechterhalten, bis die Temperatur deutlich oberhalb der Temperatur  $T_s$  ist. Im Zeitpunkt  $t_3$  wird der Strom abgestellt, was zu einem Absinken der Temperatur führt. Vorher wird bereits das Einstellfeld erniedrigt, im Zeitpunkt  $t_4$  liegt kein äußeres Feld mehr an. Wichtig ist, daß vor dem Absinken der Temperatur während der Kühlphase unter einen Grenzwert, nämlich die Temperatur  $T_s$  die Einstellung

abgeschlossen ist und das Einstellfeld  $H_{\text{ein}}$  unterhalb einer bestimmten Grenze liegt. Man braucht zu diesem Zweck sowohl einen pulsformigen Heizstrom- wie Feldverlauf. Die verträgliche Dauer der Aufheizung hängt stark vom Schichtaufbau ab, den benutzten Materialien, Materialkombinationen und vor allem von der Temperatur. Die Ausschaltzeit des Einstellfeldes  $H_{\text{ein}}$  muß deutlich kleiner als die Aufheizperiode sein.

Fig. 8 zeigt eine Prinzipskizze eines Sensorelements. Dieses besteht im gezeigten Ausführungsbeispiel aus dem Substrat 5, der Buffer-Schicht 6, der Meßschicht 7, der Entkopplungsschicht 8, und dem AAF-System 9, bestehend aus der Biasschicht I, der Flußführungsschicht II und der antiferromagnetischen Kopplungsschicht III. Der Grundgedanke ist, wie beschrieben, die magnetischen Eigenschaften der  $R_2$ -Elemente durch lokale Temperaturerhöhung derart zu ändern, daß die Biasschicht-Magnetisierungen der  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente sich entgegengesetzt ausrichten lassen. Hierzu nützt man die Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmagnetisierung und/oder der Koerzitivität und/oder der Anisotropie. Innerhalb des Operationstemperaturfensters, also des Temperaturbereichs innerhalb welchem das Sensorelement oder die Brücke betrieben wird, sollen die Elemente möglichst konstant sein. Das heißt, die Einstelltemperatur  $T_1$  bzw.  $T_2$  entweder der  $R_1$ - und/oder der  $R_2$ -Elemente soll vorzugsweise entweder ober- oder unterhalb dieses Fensters liegen. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder werden die  $R_2$ -Elemente auf Temperaturen oberhalb des Operationstemperaturfensters geheizt, oder das ganze Substrat wird stark abgekühlt und die  $R_2$ -Elemente werden erhitzt, wobei in diesem Fall die Temperatur durchaus auch im Operationstemperaturfenster liegen darf, oder aber darüber.

Wie beschrieben, kann die Erzeugung der für das unterschiedliche Temperaturverhalten der Schichten I, II verantwortliche Asymmetrie mit Hilfe der magnetischen Momente dieser Schichten erzeugt werden. Ausgehend vom in Fig. 8 gezeigten Sensorelement sei angenommen, daß die Schicht II eine niedrigere Curie-Temperatur  $T_{c2}$  besitzt als die Schicht I. Es sei angenommen, daß die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld  $H_{\text{ein}}$  liegt. Das heißt,  $m_2 > m_1$ . Eine Umkehrung der Einstellung über eine lokale Temperaturerhöhung kann erreicht werden, wenn die Curie-Temperatur  $T_{c2}$  der Schicht II genügend tief ist. Fig. 9 veranschaulicht den Verlauf der Magnetisierung in Abhängigkeit der Temperatur. Die niedrige Curie-Temperatur  $T_{c2}$  der Schicht II führt dazu, daß sich die Sättigungsmagnetisierung der  $R_2$ -Elemente deutlich um den Betrag  $\Delta M_2$  erniedrigt, wenn die  $R_2$ -Elemente auf die Einstelltemperatur  $T_2$  erwärmt werden, die  $R_1$ -Elemente weisen die niedrigere Temperatur  $T_1$  (z. B. Raumtemperatur) auf. Eine Umkehrung erfolgt, wenn  $m_2 < m_1$  ist. Es ist offensichtlich, daß die Magnetisierungen bzw. die Momentenverteilung zwischen den Schichten I und II auch vertauscht sein kann. Als Materialien für die Schicht, deren Magnetisierung umzukehren ist, eignen sich Ni-reiche Legierungen. Auch NiFeCo-Legierungen mit zu legierten nichtmagnetischen Elementen wie z. B. V, Cr, Pt, Pd und seltenen Erden wie Sm, Tb, Nd etc. können verwendet werden.

Wie Fig. 9 ferner zu entnehmen ist, liegt die Einstelltemperatur der  $R_1$ -Sensoren innerhalb des Operationstemperaturfensters. Die der  $R_2$ -Sensoren liegt darüber, jedoch noch unterhalb der Curie-Temperatur der zu bearbeitenden Schicht.

Fig. 10 zeigt ein Sensorelement mit zwei AAF-Systemen, die zwischen sich eine entkoppelte Meßschicht aufnehmen. Wie der zugehörigen Fig. 11 zu entnehmen ist, sind die Curie-Temperaturen der beiden Schichten I, II gleich und liegen hoch, so daß die physikalischen Schichtparameter mög-

lichst stabil sind. Die Schichten II sind im gezeigten Beispiel mit zwei weiteren Schichten IV, sogenannten Bilanzschichten gekoppelt, das heißt, die beiden Magnetisierungen sind gekoppelt. Die Curie-Temperaturen der weiteren Schichten IV liegen unterhalb des Operationstemperaturfensters, siehe Fig. 11. Zur Einstellung der  $R_2$ -Sensoren wird nun das gesamte Sensorsystem auf eine Temperatur  $T_1$  unterhalb des Operationsfensters abgekühlt, wobei diese Temperatur noch unterhalb der Curie-Temperatur  $T_{c4}$  der weiteren Schicht liegt. Infolge der Kopplung der Schichten II mit den weiteren Schichten IV richten sich die magnetischen Momente beider Schichten ferromagnetisch aus. Das effektive Moment der jeweiligen Schicht II steigt deswegen stärker an als das Moment der Schicht I. Da die  $R_2$ -Sensoren lokal auf eine Temperatur von oberhalb  $T_{c4}$  aufgeheizt werden ( $T_2 > T_{c4}$ ) muß das Moment der Schicht I der  $R_2$ -Sensoren größer sein als das Moment der Schicht II bei dieser Temperatur. Dies zeigt sich in Fig. 11 an der sich ergebenden Magnetisierungsdifferenz von  $\Delta M_4$ . Dies ist der von der Bilanzschicht verursachte Beitrag. Eine entgegengesetzte Ausrichtung der Magnetisierung erfolgt auch hier, wenn das Verhältnis der Gesamtmomente der Schichten I und II mit IV der erwärmten  $R_2$ -Sensoren umgekehrt ist.

Fig. 12 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements mit einem symmetrischen AAF-System bestehend aus drei Magnetschichten. An den Außenseiten des AAF-Systems sind zwei weitere Schichten IV (Bilanzschichten) vorgesehen. Neben der geringeren Temperaturbelastung dieses Systems besteht hier ferner die Möglichkeit ein Sensorelement mit vielen Perioden zu realisieren.

Die Fig. 13 und 14 zeigen eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements. Die dort gekoppelte weitere Bilanzschicht IV besitzt eine Curie-Temperatur  $T_{c4}$  oberhalb des Operationstemperaturfensters. Die Schicht ist eine ferri- oder ferromagnetische Schicht, die mit der Schicht II des AAF-Systems gekoppelt ist. Die Schichten I und II können im Prinzip aus identischem Material bestehen und eine hohe Curie-Temperatur besitzen. Im Falle einer ferrimagnetischen weiteren Schicht IV besitzt, vgl. Fig. 14, die Schicht I der  $R_1$ -Sensoren bei deren Einstelltemperatur  $T_1$  das größere magnetische Moment und steht parallel zum Einstellfeld. Bei den  $R_2$ -Sensoren ist dies gerade umgekehrt aufgrund des fehlenden Moments der Bilanzschicht ( $\Delta M_4$ ). Infolgedessen steht bei diesen Elementen das Moment der Schicht I parallel zum Einstellfeld.

Fig. 15 zeigt eine weitere Ausführungsform eines AAF-Systems bestehend aus zwei Biasschichten und zwei daran entkoppelt angeordneten Flußführungsschichten. Zwischen den Biasschichten II ist die weitere Schicht IV aufgenommen, das heißt, eine einzige weitere Schicht dient hier zur Erzeugung der kopplungsbedingten Asymmetrie.

Als Materialien für die beschriebenen Schichtsysteme können für die weitere Schicht NiFeCo-Legierungen mit Zusätzen von nicht magnetischen Elementen wie z. B. V, Cr, Pt, Pd sowie seltene Erd/Übergangsmetallegierungen wie  $(\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x})_{1-y}\text{X}_y$  mit  $X = \text{z. B. Sm, Tb, Nd, Gd, Dy etc.}$  Für die Schichten des AAF-Systems können NiFeCo-Legierungen mit wenig Zulegierungsbestandteilen oder Multischichten aus diesen Elementen verwendet werden.

Alternativ zur oben beschriebenen Erzeugung der erforderlichen Asymmetrie kann diese auch über unterschiedliche Koerzitivitäten oder entsprechende Anisotropien der relevanten Magnetschichten des AAF-Systems erzeugt werden, wobei auch eine Kombination mit der Momentvariante möglich ist. Haben die Bias- und die Flußführungsschicht eines AAF-Systems die gleichen Momente, muß für eine Einstellung die magnetische Reibung (Koerzitivität) oder die Anisotropie der Schichten entsprechend gewählt wer-



den. Es sei angenommen, daß die Gesamtreibung (oder Anisotropieenergie) der Schicht II größer als die der Schicht I ist. In diesem Fall gilt:

$\tau_2 d_2 > \tau_1 d_1$ , mit  $\tau$  = Drehreibungsvolumendichte,  $d$  = Schichtdicke,  
bzw. für die Anisotropie  
 $K_2 d_2 > K_1 d_1$ , mit  $K$  = uniaxiale Anisotropiekonstante.

Hiervon ausgehend stellt sich die Biasschichtmagnetisierung parallel zum Einstellfeld ein wenn dieses Feld parallel zur leichten Richtung anliegt. Bei Abkühlung wird eine mit der Flußführungsschicht I gekoppelte weitere Schicht IV vom paramagnetischen in den permanentpolarisierten Zustand übergehen. Im Falle einer antiferromagnetischen weiteren Schicht IV wird dies bei der Néel-Temperatur passieren. Die effektive Drehreibung oder Anisotropieenergie-dichte der Bilanzschicht-Flußführungsschicht-Kombination nimmt um den Betrag  $\tau_4 d_4$  bzw.  $K_4 d_4$  zu. In der gekühlten Schichtkombination richtet sich die Magnetisierung der Flußführungsschicht dann parallel zum Einstellfeld aus, wenn

$\tau_2 d_2 < \tau_1 d_1 + \tau_4 d_4$  bzw.  
 $K_2 d_2 < K_1 d_1 + K_4 d_4$  ist.

Hierfür müssen die  $R_2$ -Elemente mittels des Erwärmungsstroms über z. B. die Néel-Temperatur erwärmt werden. Auch hier kann ein Material für die Bilanzschicht mit einer Übergangstemperatur oberhalb des Operationstemperaturfensters gewählt werden. Die  $R_1$ -Sensoren werden dann im Arbeitstemperaturfenster eingestellt, die  $R_2$ -Sensoren oberhalb der Übergangstemperatur. Als Materialien für die weitere Schicht können antiferromagnetische Schichten wie:

NiO(500K), CoO(290K), FeMn(530K), FeO(200K), MnO(120K), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(310K),  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(950K), wobei in den Klammern die jeweilige Néel-Temperatur angegeben ist.

Auch ferrimagnetische Materialien können als Bilanzschichten zur Kontrolle der Anisotropie wie der Koerzitivität benutzt werden. In vielen Seltene-Erd-reichen Materialien ist es leicht, eine uniaxiale Anisotropie über Feldinduktion oder über magnetoelastische Kopplung zu erzeugen.

Fig. 16 zeigt eine ferrimagnetische weitere Schicht IV mit einer Kompensationstemperatur  $T_{komp}$  und einer Curie-Temperatur  $T_{c4}$  vorzugsweise unterhalb dem Operationstemperaturfenster, vgl. Fig. 17. Die weitere Schicht IV ist mit der Schicht II gekoppelt. Die Einstelltemperatur  $T_1$  der  $R_1$ -Sensoren liegt nahe der Kompensationstemperatur, so daß der magnetische Momentbeitrag der weiteren Bilanzschicht fast Null ist, während das Drehreibungsmoment zunimmt. Verglichen mit einem Schichtsystem ohne weiterer Schicht. Man kann auf diese Weise eine reine Steuerung über die Koerzitivität realisieren. Auch eine Kombination von Momenten- und Koerzitivitätssteuerung ist ohne weiteres möglich. Die Schichten I und II bestehen vorwiegend aus Co, Ni und Fe als Träger der magnetischen Momente. Ist das ferrimagnetische Bilanzschichtmedium eine Seltene-Erd/Übergangsmetallegierung, dann überwiegt oberhalb der Kompensationstemperatur das Moment des Übergangsmetalls, das in diesem Fall ferromagnetisch mit der Schicht II gekoppelt ist. Unterhalb der Kompensationstemperatur überwiegt das Moment des Seltene-Erd-Elements, das für die schweren Seltene-Erd-Elemente der Magnetisierung der Biasschicht II entgegengesetzt gerichtet ist. Eine Abnahme der Gesamtmagnetisierung der Kombination Schicht II, -Bilanzschicht verstärkt die Tendenz der Schicht I sich parallel zum Einstellfeld auszurichten.

Die Fig. 18 und 19 zeigen schließlich eine letzte Ausführungsform mit ferrimagnetischen weiteren Schichten in den mittleren AAF-Schichten. Im Operationstemperaturfenster sollten sich die Momente der Flußführungsschichten und der Biasschichten mit angekoppelten Bilanzschichten vorzugsweise kompensieren. Wird zur Einstellung der  $R_2$ -Elemente deren Einstelltemperatur  $T_2$  über die Curie-Temperatur ( $T_{c4}$ ) der Bilanzschichten IV erhöht, so ist sowohl der Reibungs- (oder der Anisotropiebeitrag) wie der Magnetisierungsbeitrag der Bilanzschicht Null. Bei den auf der Temperatur  $T_1$  gehaltenen  $R_1$ -Elementen zwingt der Reibungsbeitrag und/oder der Anisotropiebeitrag der Bilanzschicht die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld. Auch hier richten sich dann die Magnetisierungen der Biasschichten der  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente entgegengesetzt zum Einstellfeld. Als Materialien für die weitere Schicht IV bieten sich bei diesem System seltene Erd/Übergangsmetallegierungen wie  $(Fe_x Co_{1-x})_{1-y} X_y$  an mit,  $X = z. B. Tb, Gd, Dy, Ho$ . Ferner können oxidische Ferrimagneten wie Ferrite verwendet werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur,
- b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
- c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten Zeit,
- d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mindestens zwei Sensorelemente vorhanden sind, wobei die Magnetisierung der Biasschicht der beiden Sensorelemente oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung eines Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegengesetzt gerichtet sein soll, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich ein Sensorelement oder der entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die mehreren Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß Erwärmung oder Abkühlung der entsprechenden Sensorelemente lokal erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche



che, dadurch gekennzeichnet, daß der Abschaltzeit für das Einstellfeld zeitlich früher liegt als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zum Arbeitstemperaturfenster einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie noch gegeben ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Sensorelemente auf eine Temperatur erwärmt oder abgekühlt werden, die außerhalb und höher oder niedriger liegt als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei vorheriger Abkühlung der Sensorelemente die anschließende Erwärmungstemperatur des oder der jeweiligen Sensorelemente innerhalb des Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegt als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

9. Sensorelement oder Sensorelementensystem umfassend mehrere Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8 eingestellt ist.

10. Sensorelementensystem nach Anspruch 9, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

11. Sensorelement mit mindestens einer Biasschicht, die Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht insbesondere mittels des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8 in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II) in einem homogenen magnetischen Einstellfeld ( $H_{cin}$ ) bedingt durch eine zwischen den Schichten (I, II) gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist.

12. Sensorelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II) zur Erzeugung der Asymmetrie bei der Einstelltemperatur unterschiedlich große magnetische Momente besitzen.

13. Sensorelement nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (I), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Dicken aufweisen.

14. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Anisotropien besitzen.

15. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Koerzitivitäten besitzen.

16. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß, gegebenenfalls zusätzlich, die Asymmetrie mittels einer an die Biasschicht (I) oder die Flußführungsschicht (II) gekoppelten weiteren ferri-, ferro- oder antiferromagnetischen Schicht (IV) erzeugt ist.

17. Sensorelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenübergangstemperatur der weiteren Schicht (IV) niedriger als die Curie-Temperaturen der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II) ist.

18. Sensorelement nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II) aus dem gleichen Material bestehen.

19. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zwei weitere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die beiden im AAF-System außenliegenden Flußführungsschichten (I) gekoppelt sind.

20. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zwei weitere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die außen liegenden Flußführungsschichten (II) zweier eine entkoppelte Meßschicht (7) zwischen sich aufnehmende AAF-Systeme gekoppelt sind.

21. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das AAF-System zwei die weitere Schicht (IV) zwischen sich aufnehmende Biasschichten (I) aufweist.

22. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetisierung und/oder die Anisotropie und/oder die Hysteresis derart stark temperaturabhängig ist, daß sich von einem Einstellfeld mit fester Orientierung mindestens zwei unterschiedliche Biasmagnetisierungen einstellen lassen.

23. Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente nach einem der Ansprüche 10 bis 20 ausgebildet sind, und daß Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrere Sensorelement vorgesehen sind.

24. Sensorsubstrat nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel eine Erwärmung mittels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms ermöglichen.

25. Sensorsubstrat nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils vier Sensorelement zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet sind, und daß die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und angeordnet sind, daß jeweils zwei Sensorelement erwärmbar sind.

26. Sensorsubstrat nach Anspruch 25, wobei auf dem Sensorsubstrat mehrere Sensorbrücken angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel derart angeordnet sind, daß sie beim Trennen der Sensorbrücken voneinander unterbrochen werden.

27. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente und/oder die Mittel derart angeordnet sind, daß der Erwärmungsstrom über mehrere Sensorelemente, gegebenenfalls Sensorbrücken führbar ist.

28. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschließende Kurzschlußleiter (2) aufweisen, wobei der Erwärmungsstrom über die beiden nicht kurzgeschlossenen, zu erwärmenden Sensorelemente führbar ist.

29. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter (3) ausgebildet sind, wobei die Anschlußpunkte jedes nicht zu erwärmenden Sensorelementes im wesentlichen auf dem gleichen Potential liegen.

30. Sensorsubstrat nach Anspruch 29, dadurch ge-

kennzeichnet; daß wenigstens eine Spannungsausgleichsleitung (4) zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern (3) vorgesehen ist.

31. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels der Leiter (3) verbundenen Sensorelemente längs einer oder mehrere im wesentlichen gerader Linien angeordnet sind.

32. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorelemente ineinander eingreifend angeordnet sind.

33. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 32, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

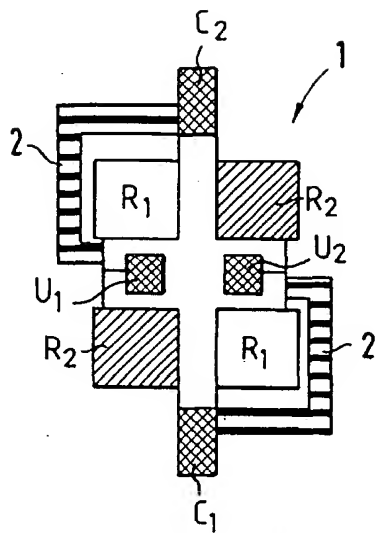


FIG. 1

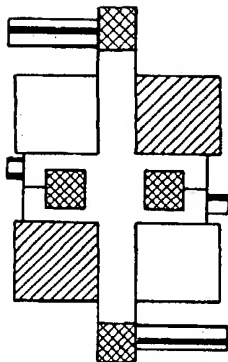


FIG. 3

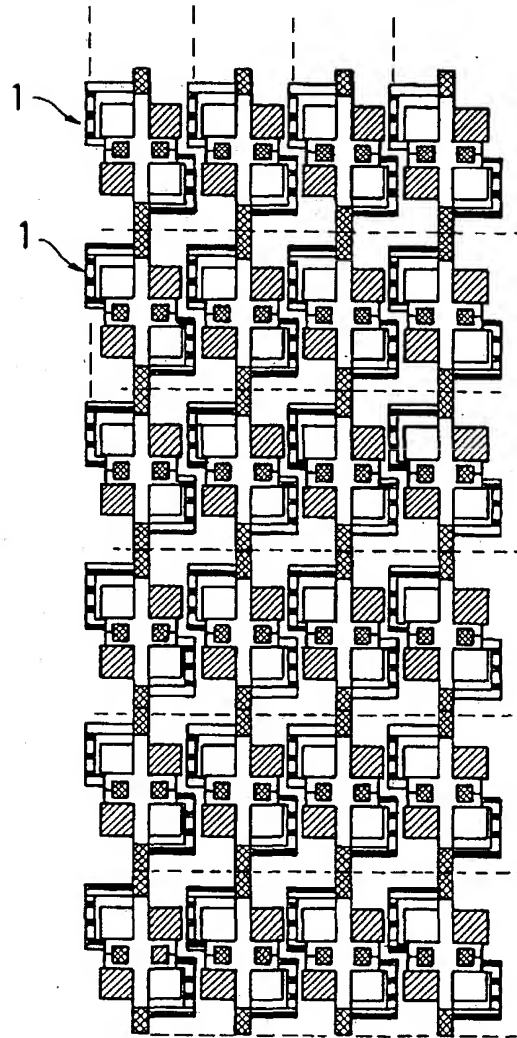
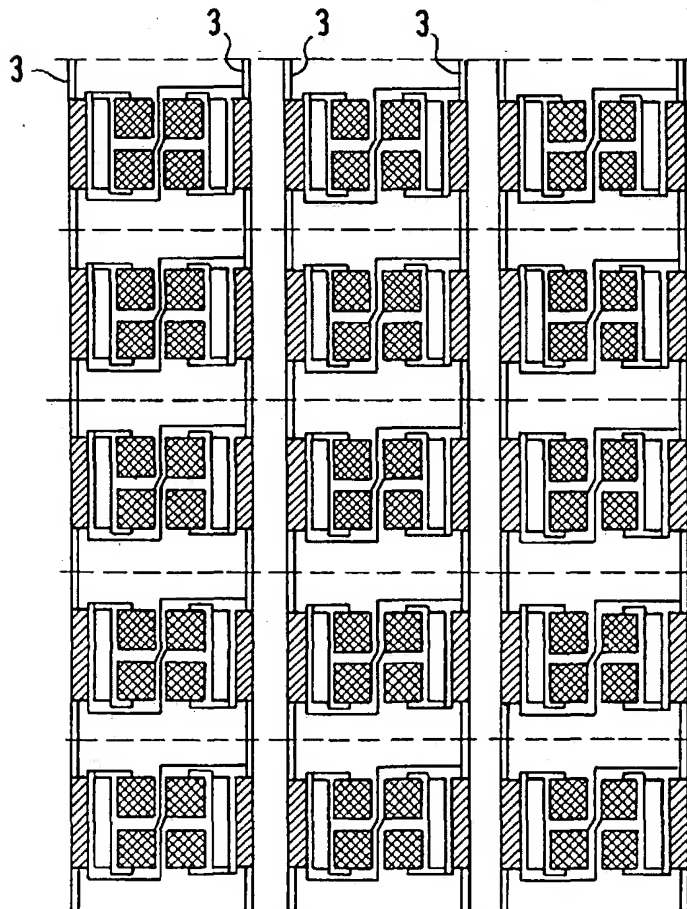
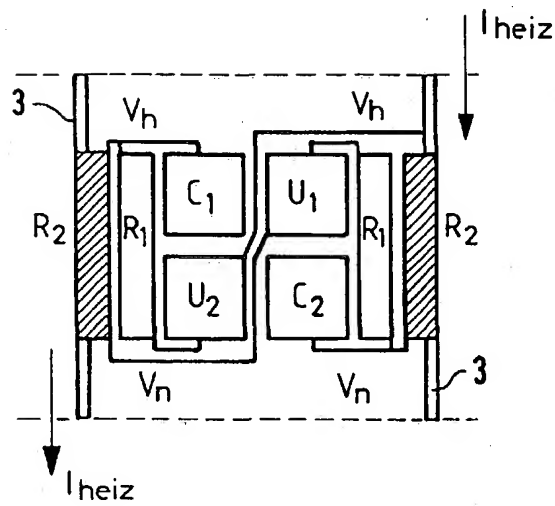


FIG. 2



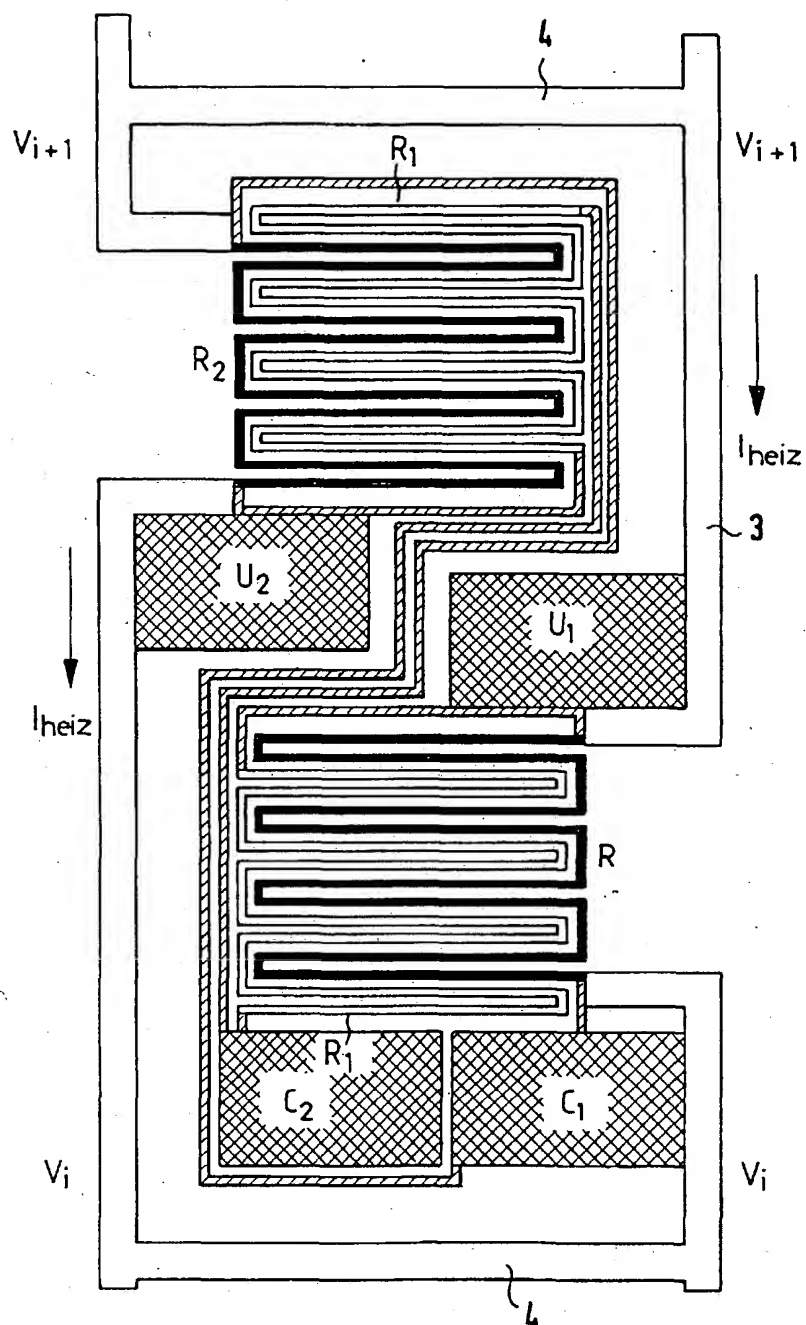
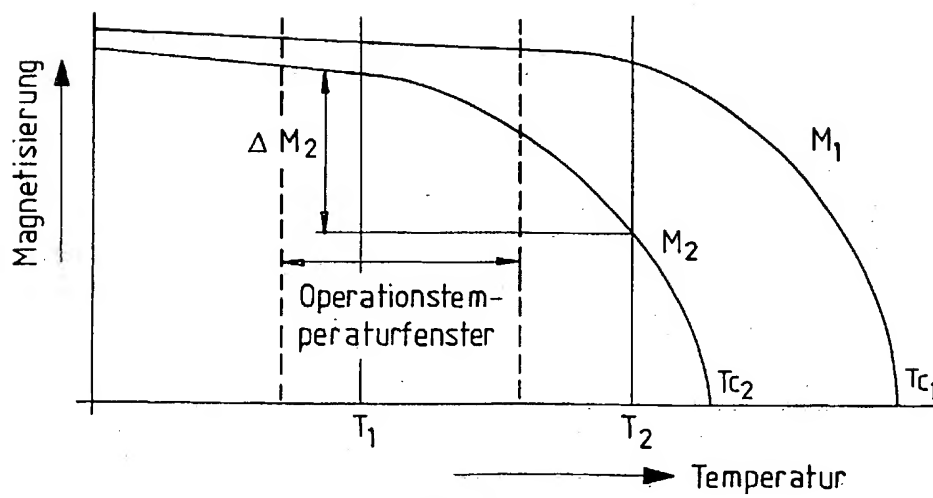
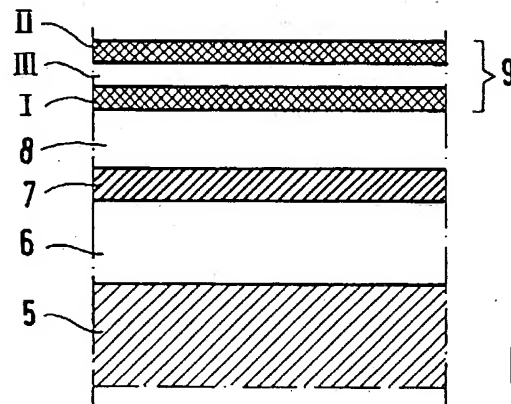
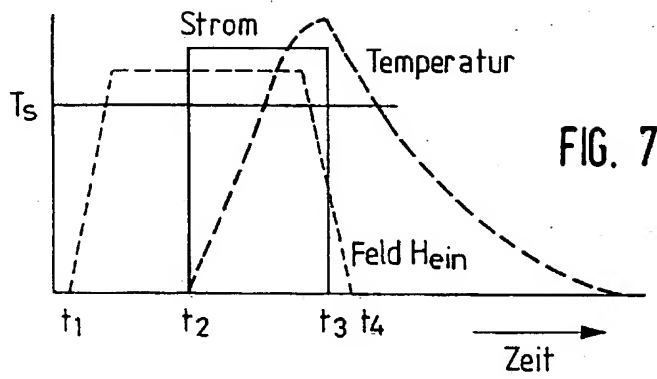


FIG. 6





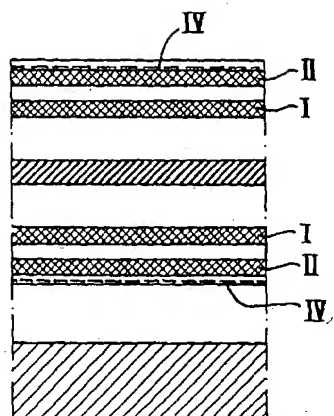


FIG. 10

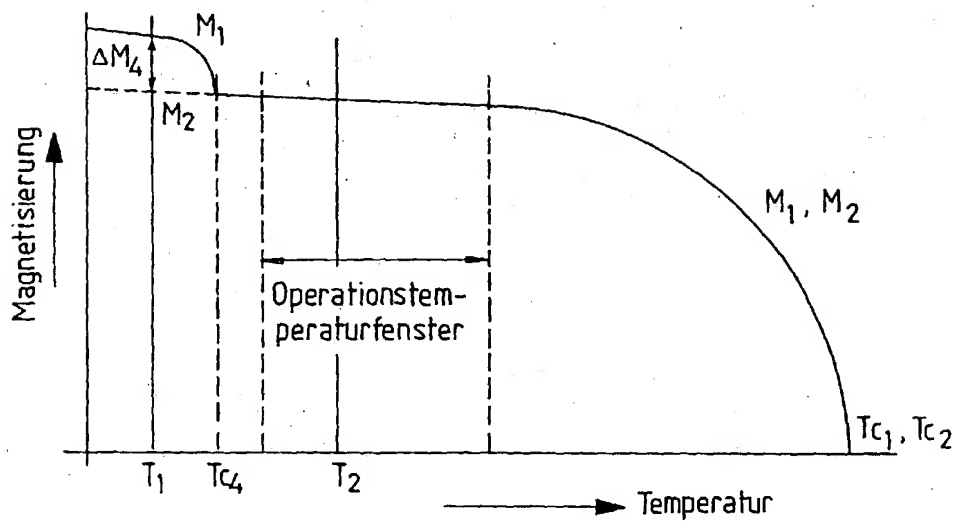


FIG. 11

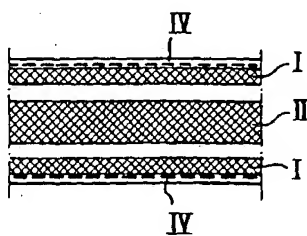


FIG. 12

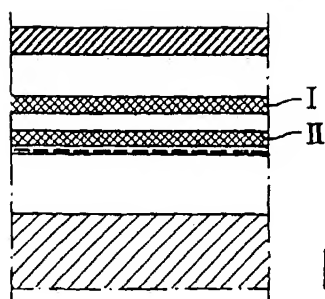


FIG. 13

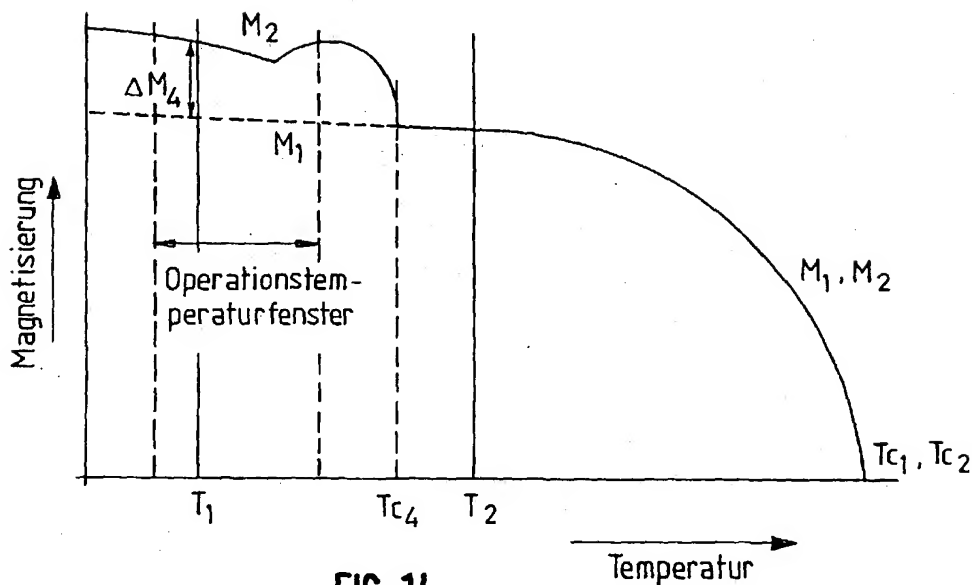


FIG. 14

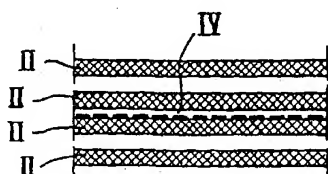


FIG. 15

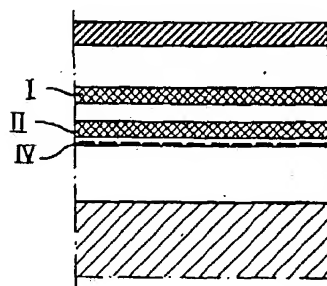


FIG. 16

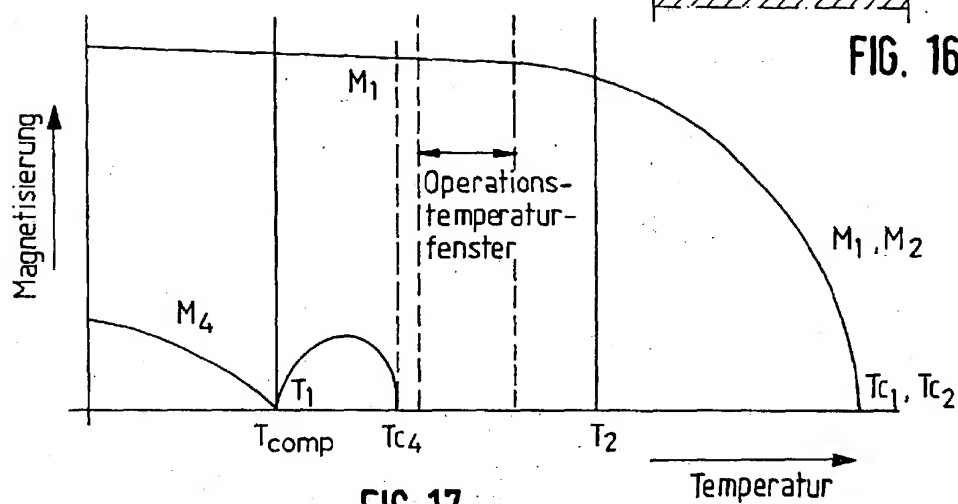


FIG. 17

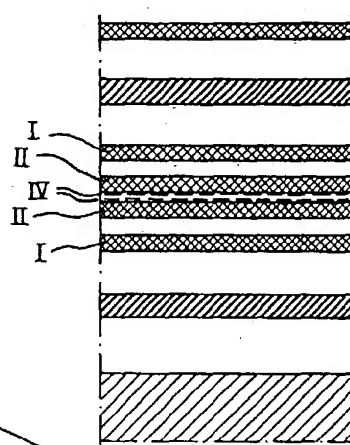


FIG. 18

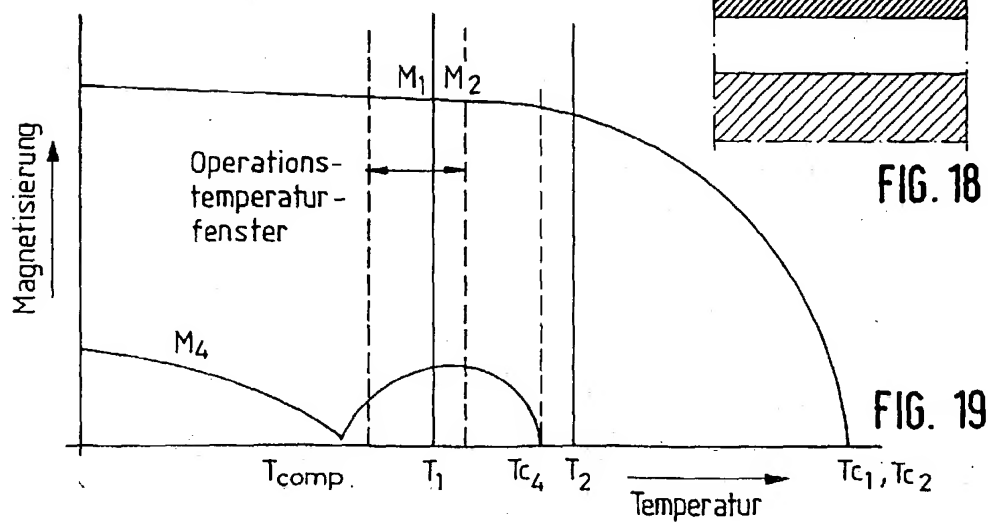


FIG. 19